

**Т. В. Емельянова<sup>1\*</sup>, В. И. Грызунов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МК ОРМЕТО-ЮУМЗ, г. Орск

<sup>2</sup> Орский гуманитарно-технологический институт (филиал ФГБОУ ВО ОГУ), г. Орск

\*tatyana.emelyanova.90@mail.ru,

Научный руководитель — проф., д-р хим. наук В. И. Грызунов

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО ЦИАНИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ**

Исследовано влияние термоциклической обработки на структуру и свойства цианированного слоя. Установлено значительное повышение его микротвердости и износостойкости. Металлографическими методами определена глубина цианированного слоя, его структура.

*Ключевые слова:* штамповая сталь, цианирование, температура, слой, микротвердость, износостойкость, диффузия, термоциклирование.

**T. V. Emelyanova, V. I. Gryzunov**

## **APPLICATION OF THERMOCYCLIC CYANING FOR THE STRENGTHENING OF SURFACE STAINS OF STAMPS STEEL**

The influence of thermocyclic treatment on the structure and properties of cyanated layer. A significant increase in microhardness and wear resistance. Metallographic methods defined by the depth of the cyanated layer.

*Key words:* die steel, cyanidation, temperature, layer, microhardness, wear resistance, diffusion, thermocyclic treatment.

Большинство традиционных технологий химико-термической обработки (ХТО) осуществляется при длительной изотермической выдержке, поэтому наиболее важной задачей поверхностного насыщения является интенсификация самой медленной стадии процесса — диффузионного насыщения. Не менее важной задачей является и обеспечение высокого комплекса механических и эксплуатационных свойств упрочняемого материала. Одним из способов решения подобных задач является химико-термоциклическая обработка (ХТЦО). Принципиальным отличием этого метода от традиционного изотермического является то, что в процессе диффузионного насыщения осу-

существляется циклическое изменение температуры материала, то есть термоциклирование сталей в интервале температур полных или частичных фазовых превращений или без фазовых превращений в зависимости от способа ХТО.

Периодическое изменение температуры процесса ХТЦО сопровождается изменением растворимости углерода, азота и легирующих элементов в аустените, что приводит к появлению диффузионных потоков в системе. Происходит выделение избыточных фаз при охлаждении в виде карбонитридов, которые обедняют аустенит углеродом, азотом и увеличивают поступление углерода и азота из атмосферы в металл при последующем нагреве. Изменение удельного объема системы из-за образования новых фаз приводит к повышению концентрации дефектов кристаллического строения, в результате чего активизируются процессы диффузионного переноса углерода и азота в стали. Происходит изменение общей концентрации диффундирующих элементов, усложнение диффузионных потоков, что приводит к значительным структурным и фазовым изменениям, возникновению напряжений и их частичной релаксации, генерации и стоков дислокаций и повышению плотности неравновесных вакансий, возрастанию внутренней энергии системы, измельчению зерна аустенита и мартенситных кристаллов, увеличению межзеренного объема и включению электронной подсистемы в процесс структурообразования [1–3].

*Таблица 1*

**Режимы ХТЦО при максимальной температуре в цикле 850 °С  
и общем времени процесса 6 ч**

| Номер опыта | Минимальная температура в цикле | Число циклов |
|-------------|---------------------------------|--------------|
| 1           | 620                             | 3            |
| 2           | 600                             | 3            |
| 3           | 580                             | 3            |
| 4           | 560                             | 3            |
| 5           | 540                             | 3            |
| 6           | 620                             | 5            |
| 7           | 600                             | 5            |
| 8           | 580                             | 5            |
| 9           | 560                             | 5            |
| 10          | 540                             | 5            |

Целью настоящей работы явилось изучение влияния циклического теплового воздействия на формирование диффузионного слоя в про-

цессе одновременного насыщения штамповой стали углеродом и азотом — цианирования.

В качестве твердого карбюризатора выступала смесь, состоящая из следующих компонентов: древесный уголь (50 %) + желтая кровяная соль  $K_4[Fe(CN)_6]$  (40 %) + кальцинированная сода  $Na_2CO_3$  (10 %).

Для исследования влияния различных параметров низкотемпературного цианирования на структуру и свойства штамповой стали 4Х5 МФС была проведена серия экспериментов (табл. 1).

Результаты проведенных экспериментов отображены в табл. 2. Данные получены по результатам не менее пяти замеров толщины слоя и его микротвердости на трех образцах в каждом режиме. Испытанию на износ подвергались также три образца в каждом режиме.

Таблица 2

**Влияние термоциклирования при цианировании на глубину диффузионного слоя, его микротвердость и износостойкость**

| Номер опыта | Средняя глубина упрочненного слоя, мкм | Средняя микротвердость упрочненного слоя, МПа | Средний износ по массе, мг | Средний линейный износ, мкм |
|-------------|--|---|----------------------------|-----------------------------|
| 1           | 308                                    | 5527  | 0,408                      | 0,41                        |
| 2           | 289                                    | 5527  | 0,415                      | 0,57                        |
| 3           | 278                                    | 5451  | 0,430                      | 0,61                        |
| 4           | 265                                    | 6487  | 0,435                      | 0,68                        |
| 5           | 262                                    | 6280  | 0,465                      | 0,71                        |
| 6           | 326                                    | 5527  | 0,402                      | 0,38                        |
| 7           | 311                                    | 6487  | 0,410                      | 0,41                        |
| 8           | 305                                    | 6280  | 0,418                      | 0,55                        |
| 9           | 294                                    | 5451  | 0,430                      | 0,63                        |
| 10          | 282                                    | 5451  | 0,445                      | 0,65                        |

При определении глубины слоя (табл. 2) было выявлено, что глубина упрочненного слоя равномерно возрастает с увеличением количества циклов и минимальной температуры насыщения в цикле. При традиционном цианировании с температурой насыщения 850 °С и выдержкой 6 ч глубина упрочненного слоя составляла лишь 203 мкм.

Исследование показало, что процесс цианирования, совмещенный с термоциклической обработкой, позволяет получить упрочненный слой глубиной приблизительно в 1,5 раза больше, чем без термоциклирования.

Результаты определения микротвердости свидетельствуют о том, что на поверхности образцов возникла упрочненная зона с твердостью,

превышающей твердость основного металла практически в два раза. В месте образования слоя карбонитридных фаз твердость максимальна, а под слоем соединений в приповерхностной зоне значения твердости несколько ниже.

Для оценки результатов проведения различных режимов термоциклического цианирования и предварительной термической обработки, образцы подвергались испытанию на износостойкость. Из табл. 2 видно, что износ образцов, подверженных цианированию, значительно меньше износа образцов в исходном состоянии. Кроме того, с увеличением числа циклов и минимальной температуры в цикле линейный износ и износ по массе равномерно уменьшается.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Расчет коэффициентов диффузии при термоциклической нитроцементации стали / Л. М. Семенова [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2011. Т. 5. № 5. С. 149–151.
- 2 Шапочкин В. И., Семенова Л. М., Бахрачева Ю. С. Нитроцементация в условиях периодического изменения состава атмосферы // Материаловедение, 2010. № 8. С. 52–58.
- 3 Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М. : Металлургия, 1986. 480 с.